5/8

Audio-Hifi: digital compact cassette

Inhoud

5/8.1 PASC, het principe van DCC

Historische ontwikkeling

Het ontbrekende aan CD

De audio-Hifi markt kan in twee segmenten ingedeeld worden. Aan de ene kant de alleen afspeelbare media, dus de langspeelplaat en de CD, aan de andere kant de afspeelbare maar ook opneembare media, de taperecorder en de cassetterecorder. De taperecorder en de langspeelplaat zijn inmiddels voor de meeste consumenten historie, zodat alleen de CD en de compact cassette de markt bepalen.
Ondanks het grote kwaliteitsverschil tussen een bandje en een CD worden er toch wereldwijd drie maal zoveel cassettes verkocht als CD's. Men zou kunnen denken dat dit op de eerste plaats een gevolg is van het vrij grote prijsverschil. Maar ook op dit moment, nu de prijzen van CD's dramatisch gedaald zijn, blijft de 1 op 3 verhouding redelijk gehandhaafd.

Er moeten dus andere redenen zijn waarom de meeste consumenten weliswaar CD's kopen, maar hun hart toch verpand houden aan cassettes. Uit marktonderzoeken blijkt dat hiervoor twee redenen bestaan.
Op de eerst plaats beschouwen de meeste consumenten een CD-speler als een stationair apparaat voor in de woonkamer (draagbare CD-spelers zijn nog steeds niet echt doorgebroken) en een cassettespeler als een deels mobiel apparaat dat men meeneemt in de auto, de trein, op vakantie, etc.
Op de tweede plaats is het grote voordeel van het compact cassette systeem dat men zélf kan opnemen. De piraterij heeft op dit gebied ongetwijfeld nog veel grotere vormen aangenomen dan bij computer software!

Zou men dus, zo redeneerden de grote elektronica concerns, een systeem kunnen ontwikkelen dat de kwaliteit van CD heeft, maar waarmee men ook eigen opnamen kan maken, dan zou dit systeem wel eens een revolutie op het audio-Hifi front kunnen betekenen. Een miljardenmarkt zou opengebroken worden voor dat concern dat het eerst een dergelijk systeem in de winkels zou kunnen brengen!

De DAT-conferentie van 1983

Het was snel duidelijk dat opneembare CD's niet binnen een aanvaardbare termijn op de markt zouden kunnen komen. Bovendien zou de prijs van dergelijke apparatuur buiten het bereik van de doorsnee consument vallen.
Het was dus voor alle concerns duidelijk dat er een digitaal systeem verzonnen moest worden, dat gebruik maakt van magnetische tape als opslagmedium: de

8.1 PASC, het principe van DCC

afkorting DAT van "Digital Audio Tape" werd geboren.
In het verleden zijn diverse proefsystemen ontwikkeld. Zo lanceerde het Japanse JVC al in de zeventiger jaren een systeem waarbij geluid onder digitale vorm op een conventionele cassette werd opgenomen. De snelheid van het bandje kon beperkt worden tot 1,5 maal deze van de analoge cassette. De digitale code werd op acht sporen opgenomen in de normale lengterichting van de band. Het frequentiebereik bleef beperkt tot 15 kHz. Dit systeem werd echter nooit op de markt gebracht.

Ondanks dat Philips, Sony en soortgelijke reuzen stevige concurrenten zijn, beseft iedereen tegenwoordig dat alleen een wereldwijde standaard enige kans heeft op een commerciële doorbraak. Vandaar werden in 1983 de koppen bij elkaar gestoken met als doel een universele wereldwijde standaard op te stellen voor de digitale registratie van geluid op magnetische band.
Er werden twee werkgroepen opgericht. De ene, de S-DAT groep, zou zich bezig houden met het ontwikkelen van een systeem waarbij de opname- en weergavekoppen stationair zouden blijven. Hetzelfde systeem dus als bij de traditionele analoge bandsystemen. De tweede, de R-DAT groep, zou onderzoeken of het gebruik van roterende koppen niet veel beter was. Hetzelfde systeem dus waarmee het uitontwikkelde video VHS-systeem werkt.

De afgang van S-DAT

Het is duidelijk dat apparatuur waarbij de opname- en weergavekoppen stil staan veel goedkoper te fabriceren is dan apparatuur waarbij deze koppen snel rond draaien. Zuiver commercieel heeft een systeem op basis van S-DAT veruit de voorkeur. De S-DAT werkgroep ontwikkelde dus een standaard. Deze maakte gebruik van registratie van het digitale geluid op niet minder dan 22 sporen, waarvan 20 voor het geluid en 2 voor hulpgegevens. Deze sporen waren ieder slechts 70 µm breed (!) en de band draaide met de standaard compact-snelheid van 4,75 cm/s. Op deze manier was het mogelijk overdrachtsnelheden van 2,4 Mbit per seconde te realiseren. Het systeem zou een speelduur per cassette van 90 minuten kunnen hebben.
In 1985 rapporteerde de S-DAT groep haar bevindingen. Hoewel het systeem in theorie ideaal leek, kwamen al snel de technologische problemen om de hoek kijken. Praktische technologen uit het veld meenden dat het nooit mogelijk zou zijn voor een redelijke prijs koppen te fabriceren die 22 sporen van de genoemde breedte konden schrijven en lezen. Bovendien verwachtte men veel problemen met azimuth-fouten bij het schrijven en lezen van de smalle sporen. De minste of geringste afwijking in de loop van de band zou het gehele systeem in de war schoppen.

De DAT-conferentie besloot het S-DAT systeem op te geven en alle aandacht te concentreren op de ontwikkeling van een internationaal R-DAT systeem.

R-DAT wordt Sony DAT

Het vervolg van het verhaal is bekend. Sony ontwikkelde in zijn eentje een R-DAT standaard die gewoon als DAT op de markt werd gebracht. Dit systeem maakt gebruik van roterende koppen en een speciale cassette. Het werd een valse start als gevolg van copy-right problemen en de door de software producenten geëiste inbouw van een anti-copieer systeem. Dit

werd het veel besproken "SCMS", afkorting van "Serial Copy Management System". Met dit systeem kan men slechts één kopie maken op een DAT-recorder van bijvoorbeeld een CD of een voorbespeelde DAT-cassette.
Niemand kan iets zeggen ten nadele van DAT. Het systeem biedt kwaliteit, maar tegen een hoge prijs. De verwachting is dat DAT-recorders in de professionele en semi-professionele markt een vaste plaats zullen veroveren, maar dat de gemiddelde consument het product links zal laten liggen.

De Philips bezwaren tegen DAT
Bij Philips beweert men dat men nooit erg warm is gelopen voor R-DAT. Natuurlijk heeft het Eindhovense concern zélf ook aan R-DAT gewerkt. Maar waarschijnlijk besefte men dat men de achterstand op Sony nooit zou kunnen inhalen.
Maar naast deze door concurrentie ingegeven bezwaren heeft Philips natuurlijk het grootste gelijk van de wereld met het onderstaande rijtje praktische bezwaren.

- Geen compatibiliteit
  In het gemiddelde Nederlandse huishouden heeft men tegenwoordig de beschikking over drie analoge cassettespelers. Die zal men niet zo snel aan de kant zetten om over te schakelen naar alweer een nieuwe standaard, met alweer nieuwe cassettes die bovendien niet in de oude analoge deck's te gebruiken zijn.
- Geen goedkope massaproductie
  Philips heeft steeds gesteld dat het massaal produceren van roterende koppen voor R-DAT een gigantische investering voor producenten zou zijn. Men geloofde niet dat R-DAT recorders voor een aanvaardbare prijs op de markt zouden kunnen komen. Daarbij denkt men uiteraard een aan belangrijke gebruikersgroep van draagbare cassettesystemen: de jeugd, die opstaat en naar bed gaat met goedkope walkmen. Tot nu toe heeft het Eindhovense bedrijf daarin gelijk gekregen, want de prijzen van DAT-recorders zijn nu, twee jaar na de introductie, nog steeds te hoog voor massale acceptatie.
- Te gevoelig systeem
  Wil een nieuwe cassettestandaard doorbreken, dan moet het systeem net zo betrouwbaar werken en net zo robuust zijn als de analoge cassette loopwerken. Roterende koppen in draagbare apparatuur zag men niet zo erg zitten. Deze preciese loopwerken zouden veel te gevoelig zijn voor schokken en ruwe behandeling.
- Te dure cassettes
  R-DAT vraagt om cassettes die gebruik maken van duur basismateriaal. Bij Philips vond men dat het nieuwe digitale systeem gebruik zou moeten maken van de standaard chroomdioxyde band, die massaal en goedkoop geproduceerd wordt voor video-cassettes.

De Philips uitdaging
Natuurlijk was men er ook bij Philips van overtuigd dat de markt rijp was voor een kwalitatief hoogstaande digitale opvolger van de compact cassette. De beleidsplanners in Eindhoven stelden een rijtje eisen op waaraan zo'n systeem zou moeten voldoen:

- In ieder geval moet het systeem volledig compatible zijn met de analoge compact cassettes. En wel in zoverre dat het nieuwe apparaat de analoge cassettes zonder problemen kan afspelen.
- Het systeem moet gebruik maken van goedkoop standaard chroomdioxyde bandmateriaal.

8.1 PASC, het principe van DCC

- De nieuwe digitale cassettes moeten even brede en even lange band bevatten dan de analoge compact cassettes.
- De speelduur moet vergelijkbaar zijn met deze van de analoge CC, dus 2 x 45 minuten.
- Het systeem moet auto-reverse werken, het is niet nodig de cassette om te draaien.
- De nieuwe digitale cassettes moeten beter beschermd worden tegen stof dan de oude analoge cassettes.
- Het systeem moet dezelfde kwaliteit hebben dan CD, hetgeen betekent dat het analoge signaal met 16 bit gedigitaliseerd moet worden.
- Het systeem moet in staat zijn te werken met de sampling-frequenties die gebruikt worden bij CD (44,1 kHz), digitale radio (32 kHz), zodat in principe een rechtstreekse digitale koppeling tussen apparaten mogelijk is.
- Het systeem moet even gebruikersvriendelijk zijn dan een CD-speler, hetgeen betekent dat naast het digitale geluid er ook nog plaats op de band moet zijn voor het registreren van extra informatie over de nummers op de band, de speelduur, etc.
- Als het kan, moet het nieuwe systeem de mogelijkheid bieden om ook tekstdisplay's aan te sturen.
- Om problemen met de software-industrie te vermijden moet het systeem uitgerust worden met een kopieerbeveiliging.

Philips en DCC

Voorwaar geen geringe opgave voor de technici van Philips! Toch is men er, in samenwerking met het Japanse Matsushita, in geslaagd in amper twee jaar een innovatief systeem te ontwikkelen, waarvan Philips hoopt dat het hun derde wereldstandaard zal worden. Want vergeet niet dat de analoge compact cassette een Philips ontwikkeling was (1963) en dat ook de compact disk voornamelijk door Philips werd ontwikkeld (1982)!

De nieuwe standaard kreeg de naam DCC, afkorting van "Digital Compact Cassette" en de eerste apparatuur werd op 9 januari 1991 gepresenteerd op de Consumer Electronics Show in Las Vegas.



Figuur 5/8.1-1: Het DCC-logo, dat op alle apparaten en alle cassettes goed zichtbaar aanwezig zal zijn.

Er werd een internationaal beschermd logo ontworpen, zie figuur 5/8.1-1 en Philips verzekerde zich van de steun van enige grote software-leveranciers, niet alleen het eigen PolyGram, maar ook EMI, RCA, WEA en BMG. Deze bedrijven zouden er voor zorgen dat begin 1993, de officiële introductiedatum van het systeem, reeds enige honderden titels van voorbespeelde DCC-cassettes verkrijgbaar zouden zijn.

Bovendien is het duidelijk dat de medewerking van Matsushita er voor zorgt dat de consumentenmerken van dit concern, Panasonic en Technics, zo snel mogelijk DCC-apparatuur op de markt zullen brengen.

8.1 PASC, het principe van DCC

Conclusie
Het is natuurlijk jammer dat de industrie niet in overleg een nieuwe standaard heeft kunnen afspreken. Of DCC zal doorbreken hangt nu hoofdzakelijk af van de marktontwikkeling. Toch gooit Philips hoge ogen met DCC. Voornamelijk het feit dat het digitale systeem volledig compatible is met de oude analoge standaard zal ongetwijfeld bijdragen aan een algemene acceptatie. De eerste DCC-apparaten zijn inmiddels verkrijgbaar voor prijzen rond de *f* 1.000,00. Dat is uiteraard veel te duur. Maar Philips verwacht dat de prijzen erg snel zullen dalen. Want, zoals een woordvoerder van Philips verkondigde: *"DCC is niets anders dan een traditionele cassettespeler, met alleen een speciale nieuwe kop en wat digitale chip's er in".*

DCC, een revolutie?

Inleiding
In principe is 16 bit digitalisatie van geluid niets nieuws. Het CD-systeem maakt er gebruik van en de noodzakelijke codeer- en foutcorrectietechnieken zijn ook van de CD-technologie volledig bekend.
Het grote probleem is echter dat deze grote digitale data-stroom nooit of te nimmer op de ruimte van een traditionele compact cassette te persen valt!
Als men twee audio-kanalen (stereo) bemonstert met een snelheid van 44.100 keer per seconde en dit met een resolutie van 16 bit, dan ontstaat een digitale datastroom van niet minder dan 1,4 Mbit per seconde. Uit de CD-technologie is bekend dat deze gegevensstroom verdubbeld moet worden om de noodzakelijke codering en foutcorrectie er in te kunnen verwerken.

Uit onderzoek blijkt echter dat een chroomdioxyde-band die met een snelheid van 4,76 cm/s langs de kop wordt getransporteerd een maximale digitale opslagcapaciteit heeft van slechts 100 kbit/s!

Meersporen techniek noodzakelijk
Het is dus duidelijk dat men met meer dan een spoor moet werken. De vraag is hoeveel sporen er betrouwbaar op de helft van een cassetteband kunnen worden aangebracht. Het systeem moet immers auto-reverse werken, zodat slechts de helft van de bandbreedte beschikbaar is voor iedere richting.
De breedte van de band in een compact cassette bedraagt 3,78 mm. De vertikale tolerantie voor het transport van de band langs de kop is vastgesteld op 0,05 mm.
Uit deze gegevens kan men afleiden dat DCC binnen de constructieve tolerantie blijft als men de helft van de breedte indeelt in negen spoortjes die ieder een breedte van 185 µm hebben.
Dat is de breedte die wordt aangehouden bij het opnemen van gegevens op de band.
Men moet echter rekening houden met de genoemde maximale heen en weer verplaatsing van de band van 50 µm. Dat betekent dat men 100 µm van de spoorbreedte moet aftrekken om er zeker van te zijn dat een spoortje altijd door de goede kop wordt uitgelezen. De weergavekoppen werken bijgevolg met een breedte van 70 µm.

Meer dan deze negen sporen zijn technologisch niet op een compact cassette onder te brengen. Eén spoor is absoluut noodzakelijk voor het registreren van hulp-informatie voor de bediening en het tekst-display.

8.1 PASC, het principe van DCC

Er staan dus slechts acht kanalen ter beschikking voor het registreren van het digitale geluid.
Dat betekent dat de data-stroom die op een CC kan worden opgenomen maximaal 8 x 100 = 800 kbit/s bedraagt.

Enorme data-reductie noodzakelijk

Om enige tolerantie toe te laten hebben de technici de maximaal beschikbare data-stroom vastgesteld op 768 kbit/s. Maar daarvan heeft men de helft nodig voor de noodzakelijke foutcorrectie, de synchronisatiebits en een 8-naar-10 modulatieschema. Voor het registreren van het geluid blijft dus slechts 384 kbit/s over.

Dat is ongeveer vier keer minder dan de noodzakelijke 1,4 Mbit/s. Bij de gewenste bemonsteringssnelheid van 44,1 kHz zou men dan slechts ruimte hebben om per monster 4 bit gegevens op te slaan. Dat is uiteraard veel te weinig, want met een resolutie van 4 bit kan men nooit het amplitudeverloop van geluid nauwkeurig digitaal beschrijven! Bovendien werd de eis gesteld dat men met de traditionele 16 bit van de CD-technologie zou werken.

Op de een of andere manier moet men dus een data-reductie met een factor vier verzinnen: dé grote uitdaging voor de ontwikkelaars van het DCC-systeem!

De DCC-revolutie

Men heeft het ontwikkelen van het DCC-principe wel eens dé revolutie op het gebied van geluidsregistratie genoemd. Dat is ook zo. Want tot nu toe, vanaf de ontwikkeling van de eerste grammofoon tot de introductie van de CD, heeft men er steeds naar gestreefd aan "werkelijkheids weergave" te doen. Het elektrische analoge signaal dat uit het apparaat kwam moest een zo getrouw mogelijke reproductie zijn van de geluidsgolven die ooit het membraan van de microfoon aan het trillen hadden gebracht. Men spreekt in dit verband van "perfecte representatie".

Maar die perfecte representatie kan bij DCC niet, vanwege de beperkte datastroom die men kan opslaan. Dus heeft men bij de ontwikkeling van het DCC-systeem voor een geheel nieuwe en revolutionaire aanpak gekozen. Geen "perfecte representatie", maar "perceptieve representatie". Het analoge elektrische signaal dat uit een DCC-speler komt is ***niet*** een zo getrouw mogelijke weergave van de originele geluidstrillingen. Wat er wél uit komt is een signaal dat het menselijke gehoor de indruk geeft te luisteren naar dat wat ooit door de microfoon werd opgenomen.
Bij DCC staat dus het menselijke gehoor centraal en geen dorre en gevoelloze meetinstrumenten.

Het zwakke punt van DCC?

Dat is dan ook meteen het punt waar kritische luisteraars DCC reeds nu op aanvallen. Want wat is "het menselijke gehoor"? Dat kan niet in standaard formules worden beschreven, want ieder mens hoort ongetwijfeld anders. Toch doet DCC niets anders dan de karakteristieken van dat menselijke gehoor in wiskundige formules vatten en deze wiskundige formules met behulp van een zeer snelle signaalprocessor elektronisch op het geluid loslaten.
Een tweede punt van kritiek is of die formules wel toepasbaar zijn voor gelijk welke soort muziek. Het is niet te ontkennen dat er een geweldig groot verschil bestaat in de menselijke interpretatie (perceptie)

van een monotone discodreun of van een klassiek stuk. Dat laatste heeft veel meer nuances en menging van harde en zachte passages en instrumenten.
Critici beweren dat Philips bij het bedenken van de "perceptieve representatie" voornamelijk het jonge publiek met hun moderne specifieke muziekvoorkeur voor ogen heeft gehad en de kritische luisteraar niets bij DCC te zoeken heeft.
Philips beweert anderzijds dat ontelbare luisterproeven zijn uitgevoerd met alle mogelijke soorten muziek en met alle denkbare soorten luisteraars. Het is zelfs zo dat het concern beweert dat alleen getrainde medewerkers van het audio-lab van PolyGram het verschil konden horen tussen een originele CD-weergave en een DCC-opname ervan.
De toekomst zal uitwijzen wie gelijk heeft!

PASC, hét principe van DCC

Inleiding

Het basisprincipe van de data-reductie die in DCC-spelers wordt toegepast heet "PASC". Dit is het letterwoord van "Precision Adaptive Sub-band Coding". In het Nederlands te vertalen door "nauwkeurige aangepaste codering in sub-banden".
De data-reductie die door PASC wordt uitgevoerd zit enerzijds in de reeds genoemde perceptieve representatie van het geluid en anderzijds in een aantal onschuldige maar zeer ingenieuze technische grapjes.
De data-reductie is gebaseerd op de onderstaande principes:

- de drempelwaarde van het menselijke gehoor;
- het maskeereffect van het menselijke gehoor;
- adaptive bit allocation;
- middeling van het gemiddelde niveau;
- re-allocatie van de codes.

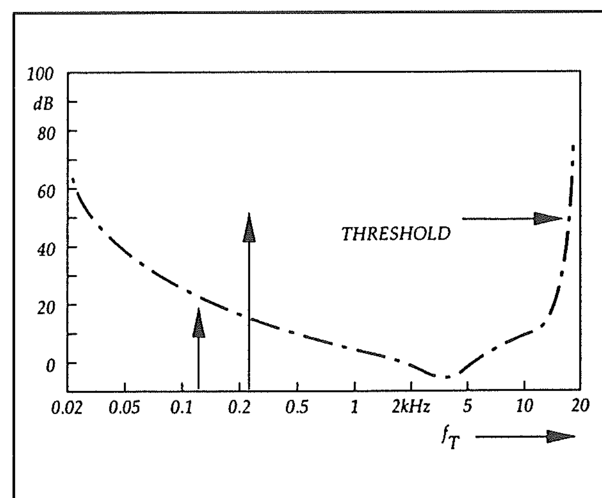
Deze principes zullen in de volgende paragrafen uitvoerig worden besproken.

De sample-frequentie

PASC werkt met een sample-frequentie van 48 kHz. Dat wil zeggen dat er per seconde 48.000 monstertjes worden genomen van het geluidsignaal en dat ieder monstertje wordt omgezet in een digitale code.
De sampling-frequentie ligt dus nog een stuk hoger dan deze die gebruikt wordt bij het CD-systeem of bij digitale radio!

De drempelwaarde van het menselijke gehoor

Het is reeds lang bekend dat het menselijke gehoor frequentie selectief gevoelig is. Dat betekent dat er een gehoorcurve kan worden opgesteld, die natuurlijk niets meer wil zijn dan een gemiddelde van duizenden luisteraars. Deze curve is getekend in figuur 5/8.1-2.



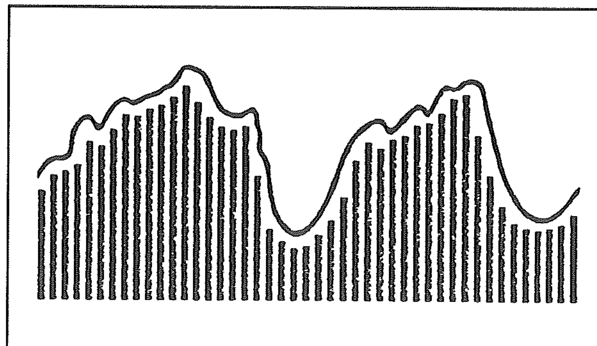
Figuur 5/8.1-2: De gehoorcurve van het menselijke gehoor.

8.1 PASC, het principe van DCC

Uit deze grafiek volgt dat het oor het gevoeligst is voor frequenties tussen 2 en 5 kHz. Naar beneden en naar boven neemt de gevoeligheid van het oor sterk af.
Men kan een zogenoemde "threshold" opstellen. Dat is een lijn die aangeeft waar, voor iedere frequentie, de drempelwaarde van het oor ligt. Geluiden die zwakker zijn dan deze drempelwaarde worden niet waargenomen!

Volgens de verzinners van het PASC-principe is het dan ook onzin om dergelijke geluiden, die toch niet worden gehoord, digitaal te coderen en op de cassetteband op te nemen. Zou PASC een signaal moeten digitaliseren dat bestaat uit twee sinussen met frequenties van 130 Hz en 210 Hz, zoals weergegeven in figuur 5/8.1-2 en zouden de amplitudes van deze twee signalen zich verhouden zoals getekend met de pijltjes, dan zou PASC het signaal van 130 Hz weglaten en niet digitaliseren.

Natuurlijk is dit principe niet zo eenvoudig in de praktijk te brengen. De drempelwaarde van het gehoor is immers geen statische waarde, maar werkt dynamisch. De drempel is namelijk afhankelijk van het gemiddelde geluidsniveau van het signaal. Vandaar dat PASC volledig dynamisch werkt en de drempelwaarde voor iedere frequentie steeds weer vergelijkt met het gemiddeld niveau van het signaal. In de praktijk is het uiteraard onmogelijk om dat vergelijkingsproces voor "iedere frequentie" uit te voeren.
Vandaar wordt het audio-bereik van 20 Hz tot 20 kHz in 32 sub-bandjes ingedeeld, die ieder 600 Hz breed zijn. Deze bandjes zijn, zie figuur 5/8.1-3, lineair over de frequentie-as verdeeld.



Figuur 5/8.1-3: De volledige audio-band wordt ingedeeld in 32 sub-bandjes met een breedte van 600 Hz.

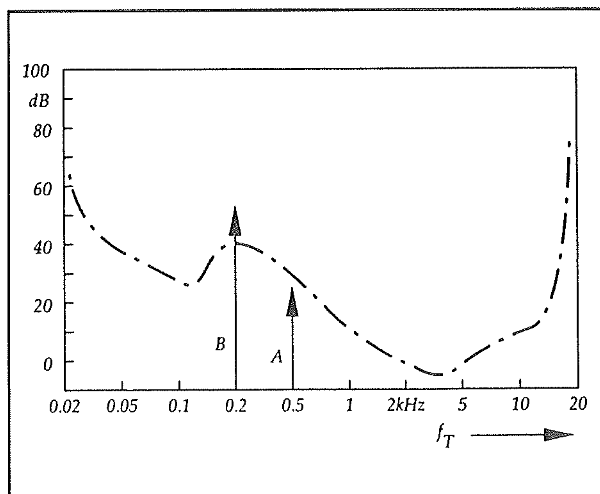
Traditionele analoge elektronici zullen zo hun bezwaren hebben tegen dergelijke scherpe filtertechnieken. Vergeet niet dat de amplitude-inhoud van al deze bandjes nadien, bij het weergeven van het signaal, weer netjes tot één brede audio-band gecombineerd moeten worden! Met analoge schakelingen is dit volstrekt onmogelijk zonder grote problemen te krijgen met fase- en looptijd-verschuivingen. Met moderne digitale signaalbewerkingstechnieken is dit echter zonder kwaliteitsverlies mogelijk.

PASC berekent voor iedere sub-band de verhouding tussen gemiddeld signaalniveau en vast geprogrammeerde gehoordrempel voor deze band. Ligt de amplitude-inhoud van een sub-bandje onder de gehoordrempel, dan wordt de inhoud van dat bandje niet gecodeerd.

Het maskeereffect van het menselijke gehoor

Uit zeer uitgebreide luisterproeven is gebleken dat het menselijke gehoor een bepaald maskeereffect vertoont. Dit verschijnsel wordt toegelicht aan de hand van de grafiek in figuur 5/8.1-4.

8.1 PASC, het principe van DCC



Figuur 5/8.1-4: Het maskeereffect van het menselijke gehoor.

Een sterk signaal kan een in frequentie vlakbij gelegen zwakker signaal maskeren. Dat wil zeggen dat het gehoor dat tweede signaal niet zal waarnemen, ondanks dat de amplitude ervan in principe boven de gehoordrempel ligt. Het lijkt erop alsof het sterke signaal tijdelijk een plaatselijke vervorming van de threshold-curve veroorzaakt, waardoor alle frequenties in de omgeving van het sterke signaal opeens minder hoorbaar worden.

Een tweede maskeereffect ontstaat in de tijd. Als een zacht geluid een paar milliseconde eerder door een hard geluid is voorafgegaan zal het zachte geluid niet waarneembaar zijn. Het lijkt er op alsof het harde geluid ons gehoor eventjes verdooft.

De PASC-processor houdt rekening met deze twee maskeereffecten. De elektronica voert een continue analyse uit van het amplitudeverloop in ieder van de 32 subbandjes, vergelijkt de gegevens van een sub-band met de analyses van de aangrenzende sub-bandjes en analyseert bovendien het amplitudeverloop in functie van de tijd. Aan de hand van al deze gegevens besluit de processor welke signalen wel en welke signalen niet verder worden verwerkt.
Dank zij deze zeer intelligente werkwijze zorgt de PASC-processor er toch voor dat de subtiele klank van een triangel niet wordt gemaskeerd door een paukslag. De frequenties van beide instrumenten liggen immers zo ver uit elkaar dat deze niet in aangrenzende sub-bandjes liggen en dus niet voldoen aan de PASC-criteria voor maskering.

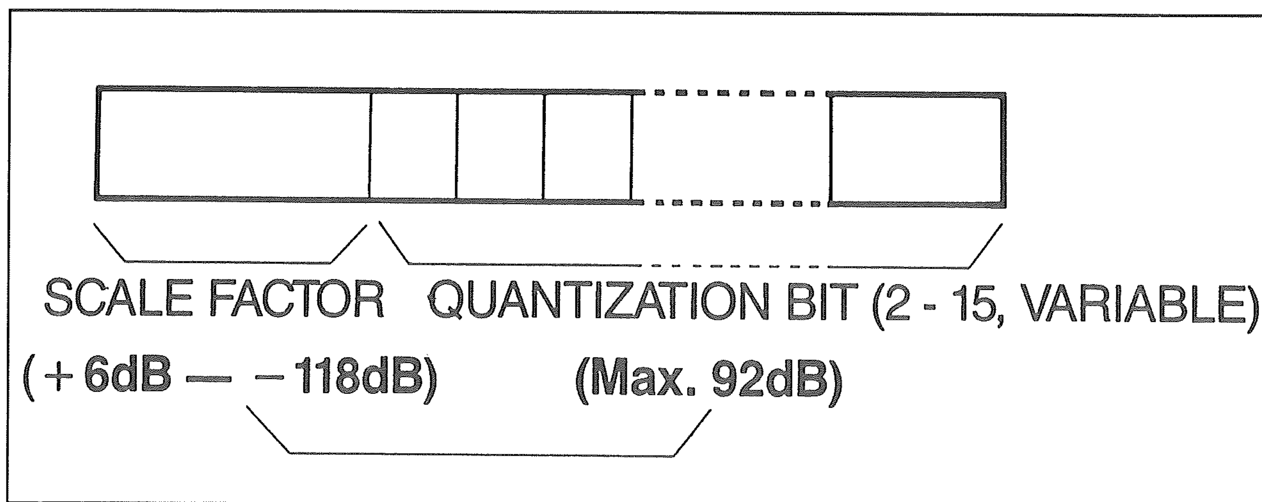
Adaptive bit allocation

De volgende stap is dat alles dat boven de gehoor- en maskeerdrempels ligt digitaal verwerkt moet worden.
De bestaande systemen CD en DAT gebruiken hiervoor een zogenoemde “lineaire quantisering”. Ieder monster wordt standaard omgezet in een 16 bit brede digitale code. Ieder monster bevat dus even veel geluidbits.

PASC werkt met een zogenoemde “floating point quantisering”. Voor ieder monster staan in principe 19 bits ter beschikking. In principe, omdat ook dit een dynamisch proces is en PASC alleen zoveel bits aan een monster toewijst als nodig voor het quantiseren van het monster. Voor het ene monster kan dat noodzakelijke aantal bits inderdaad 19 bedragen, voor een volgens monster kan het echter best zijn dat 4 bits volstaan.

De 19 bits worden ingedeeld in twee groepen. Zes bits bepalen een zogenoemde schaalfactor, de overige 15 bits staan ter beschikking voor de quantisering van het monster.

8.1 PASC, het principe van DCC



Figuur 5/8.1-5: De bitstructuur van de PASC-codering van één monster.

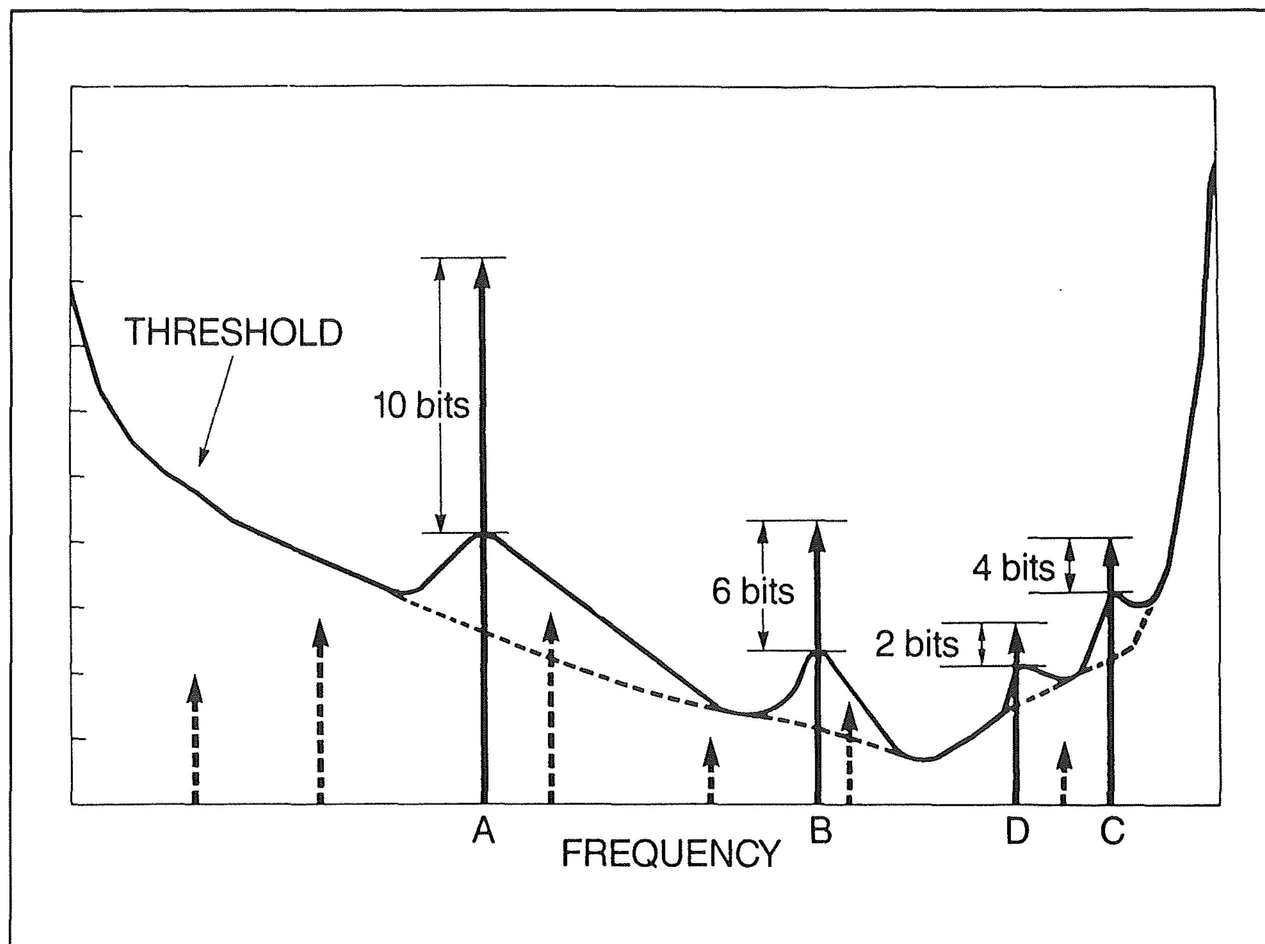
Dit wordt toegelicht in figuur 5/8.1-5.
De 6 bits voor de schaalfactor noemt men ook wel eens de exponent van de code, de 15 bits voor de quantisering de mantisse.
Aan de hand van deze maximale ruimte voor het quantiseren van een monster berekent Philips de maximale theoretische signaal/ruis-afstand van het DCC-systeem als -92 dB. Maar dank zij de later te bespreken dynamische manier waarop met deze 19 bits wordt omgesprongen zou men kunnen stellen dat de praktische signaal/ruis-afstand gelijk is aan -108 dB. Deze waarde ligt niet minder dan 10 dB boven de 98 dB die het CD-systeem te bieden heeft!

Zoals gezegd worden de 6 + 15 bits dynamisch toegekend. Hoe dat gaat is toegelicht in figuur 5/8.1-6.
In deze figuur worden tien monsters beschouwd, die in tien verschillende subbandjes liggen. De gestippeld getekende monsters worden niet gequantiseerd, omdat zij onder de drempels van het gehoor liggen. Blijven dus over de monsters A, B, C en D.

PASC vindt dat het onzin is om de totale amplitude van deze monsters te quantiseren. Het gedeelte van de amplitude dat onder de threshold-curve ligt kan in één keer gedefinieerd worden door een schaalfactor in te voeren. Deze schaalfactor houdt dus rekening met de absolute amplitude van het signaal. De waarde van de schaalfactor wordt opgeslagen in de zes eerste bits.
Nadien codeert PASC alleen dat deel van de amplitude dat boven de gehoordrempel ligt. Bovendien kijkt het systeem naar de grootte van deze amplitudes. Signaal D zit bijvoorbeeld maar iets boven de gehoordrempel uit en het zou zonde zijn om deze kleine amplitude in 15 bits te digitaliseren. Dat kan net zo goed met slechts 2 bits. De te quantiseren amplitude van signaal A is echter groot en PASC stelt daarvoor dan ook 10 bits ter beschikking.

Zo zal het dus maar zelden voorkomen dat PASC de toegestane 15 bits nodig heeft om een amplitude te quantiseren, hetgeen een aanzienlijke code-reductie tot gevolg heeft.

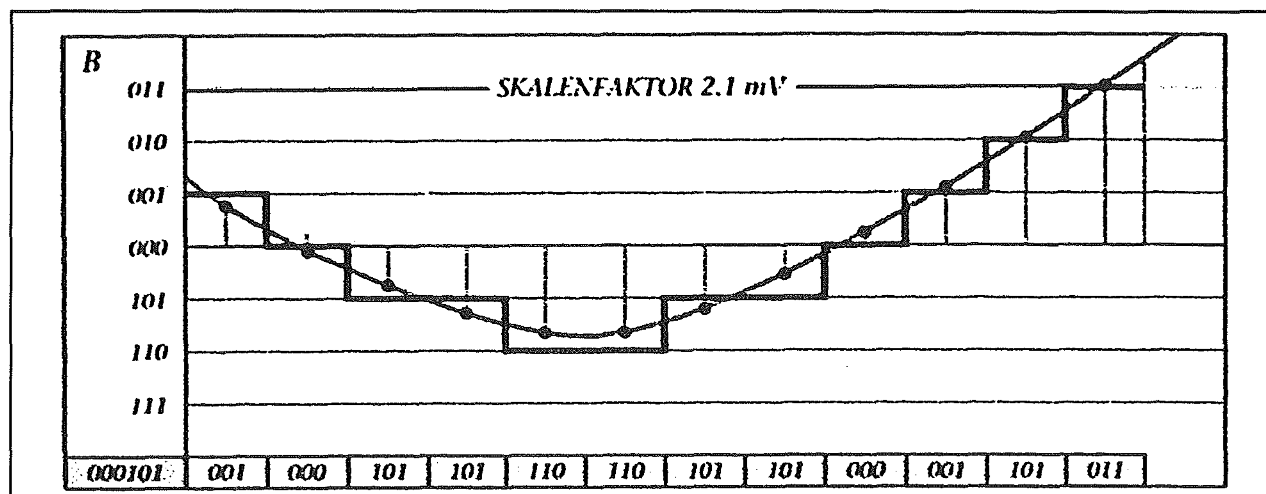
8.1 PASC, het principe van DCC



Figuur 5/8.1-6: De adaptieve bit toekenning aan diverse monsters bij het PASC-systeem.

Middeling van het gemiddelde niveau
Een verdere data-reductie wordt bereikt door de digitale codes van 12 opeenvolgende monsters in een zogenoemd "PASC-raam" samen te voegen. Onderzoeken hebben uitgewezen dat de gemiddelde waarde van een geluidssignaal, vergeleken met de sampling-frequentie van 48 kHz, maar zeer langzaam varieert. Dat wil zeggen dat de opeenvolgende samples meestal dezelfde waarde voor de schaalfactor hebben. Het is dus niet noodzakelijk deze waarde in de code van ieder monster te verwerken! Vandaar dat PASC de gemiddelde signaalwaarde over een periode van 12 samples berekent en deze eenmalig in een digitale schaalfactor onderbrengt. Nadien volstaat het voor deze 12 monsters alleen de waarden van de quantisaties in de code op te nemen.
Dit principe wordt in figuur 5/8.1-7 toegelicht aan de hand van een voorbeeld.
Het analoge signaal schommelt in dit voorbeeld rond een gemiddelde waarde van 2,1 mV. PASC berekent deze waarde en stelt de schaal-factor voor deze 12 monsters vast op "000101". Nadien berekent PASC de amplitude-afwijking van ieder monster ten opzichte van de gemiddelde waarde van 2,1 mV. Duidelijk blijkt dat de momentele waarde erg weinig varieert en dat steeds slechts 3 bits noodzakelijk zijn om het amplitudeverloop ten opzichte van de schaalfactor te definiëren.

8.1 PASC, het principe van DCC



Figuur 5/8.1-7: Door de schaalfactor vast te stellen voor 12 opeenvolgende monsters wordt een verdere aanzienlijke data-reductie bereikt.

Conclusie: voor het volledig definiëren van deze 12 monsters heeft PASC slechts 6 + (12 x 3) = 42 bits nodig, heel wat minder dan de 12 x 16 = 192 bits die het CD-systeem er voor nodig heeft!

Re-allocatie van de codes

Een van de eigenschappen van geluid is dat de frequentiesamenstelling voortdurend varieert. Het zal niet vaak voorkomen dat er een monster genomen wordt, waarbij alle 32 sub-bandjes gevuld zijn. Integendeel, bij de meeste monsters zal het gebeuren dat diverse sub-bandjes geen informatie boven de gehoor- en maskeerdrempels bevatten.
Het zou nu niet efficiënt zijn om in de uiteindelijke digitale code van het monster ruimte te reserveren voor het opslaan van sub-codes van sub-bandjes die toch leeg zijn.
Vandaar dat PASC alweer zeer dynamisch de uiteindelijke code toewijst. Dit wordt "re-allocatie" genoemd. PASC verdeelt lange quantiserings-codes mede over de lege sub-bandjes, waardoor de uiteindelijke code veel minder ruimte in beslag neemt.

Natuurlijk is het dat wel noodzakelijk de quantiseringscode aan te vullen met een adrescodering. Anders zou de PASC-processor bij het herwinnen van het analoge signaal uiteraard niet weten waar alle gegevens van een monster zitten.

Conclusie

Gemiddeld heeft PASC slechts 4 bits nodig voor het digitaliseren van een monster. Toch wordt hiermee dezelfde resolutie bereikt als met een traditionele lineaire quantisering die uit 16 bits bestaat! Omdat uiteraard met stereo gewerkt moet worden, bestaat ieder monster gemiddeld uit 8 bits. Dit betekent dus een datareductie van 32 naar 8 bits en men kan besluiten dat het de technici inderdaad gelukt is om de noodzakelijke datareductie met een factor vier in de praktijk te brengen.

De samenstelling van de PASC-code

De PASC-codering van het audio-signaal in groepjes van 8 bits is dus geen platte digitale representatie van het amplitudeverloop van monster tot monster. Die bytes moeten eerder gezien worden als een

zich voortdurend dynamisch ontwikkelende puzzel, die bij de herwinning van het analoge signaal moet worden opgelost door de PASC-processor.
Wie nu denkt dat die PASC-processor een super-intelligente processor moet zijn, heeft het mis.
Het unieke van de PASC-codering is dat de decodeersleutel niet in de elektronica zit, maar volledig in de PASC-code verweven zit.
De sleutel, die van byte tot byte varieert, maakt het aan de PASC-processor duidelijk wat er voor iedere herwinning van een monster moet worden gedaan, waar de sub-codes liggen opgeslagen, wat de gemiddelde signaalwaarde is en hoe uit de mantissen de uiteindelijke 16-bit code van het geluidmonster kan worden samengesteld.

Na de PASC-bytes

Inleiding
De PASC-codering is slechts het allereerste deel van de digitale codering in een DCC-apparaat. De bedoeling van PASC is niets meer maar ook niets minder om de 16 bits van de lineaire quantisering terug te brengen tot de 4 bit, waarvoor een cassettebandje ruimte heeft.

Uit de CD-technologie was al bekend dat het digitaal registreren van audio-codes op een medium zonder foutcorrectie systemen een onhaalbare kaart is. Het volstaat immers om één bitje fout uit te lezen om een enorm amplitudeverschil in het herwonnen analoge signaal te doen ontstaan.
Bovendien moet de code nog eens worden aangevuld met de sub-code voor de "Control & Display"-functies op het negende hulpspoortje.
Tot slot moet men de code, net zoals bij de CD-technologie, omzetten in een ander formaat. Was dat bij de CD de "Eight to Fourteen Modulation" (EFM), die het DCC-systeem heeft men gekozen voor ETM, afkorting voor "Eight to Ten Modulation".
Ook bij het DCC-systeem moet men dus de PASC-code verder grondig bewerken.

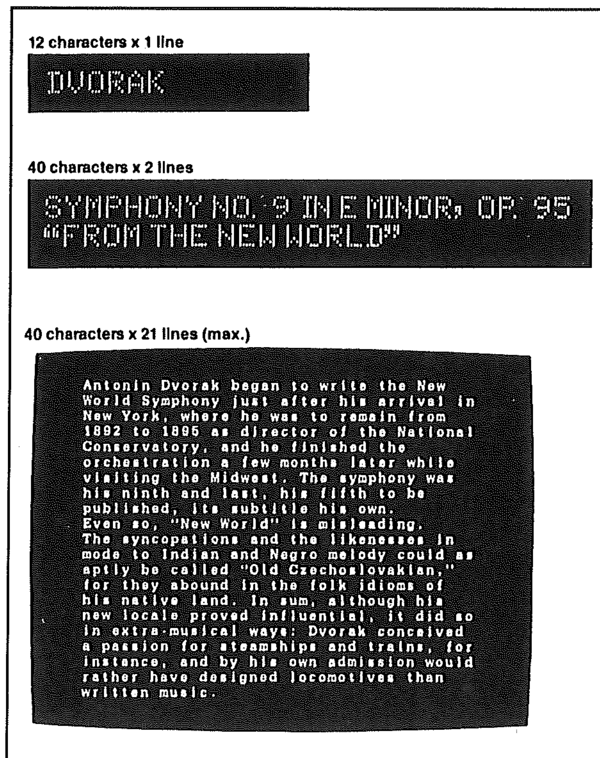
De sub-code voor C&D
De sub-code voor "Control & Display" bevat op de eerste plaats de noodzakelijke besturingscodes om snel naar het begin van een nummer te spoelen en alle bedieningshandelingen even comfortabel uit te voeren als bij een CD-speler.
Vergelijkbaar met de CD-technologie kan men ook "ID-markers" aanbrengen die door middel van "soft-editting" toelaten te starten en te stoppen op een bepaald punt van de band. Een "HOME-marker" geeft het einde van een opname aan, zodat het apparaat automatisch de auto-reverse kan inschakelen voor het einde van de band in bereikt.
Met een "Renumber"-faciliteit kan men de nummering van de liedjes op een cassette veranderen, waardoor deze ook in een andere volgorde worden afgespeeld. Dat kan ook bij CD, maar daar moet de codering in een geheugen in de speler worden opgeslagen en deze heeft uiteraard een beperkte omvang. Bij DCC worden de nummercodes op de tape zélf vastgelegd.

In de sub-code is echter bovendien nog eens plaats voor het versturen van 400 letters per seconde.
Hiermee kunnen, afhankelijk van het zogenoemde "level" van het DCC-apparaat:

8.1 PASC, het principe van DCC

- alleen de titels van de nummers;
- alleen de naam van de componist plus de titel van het nummer;
- volledige songteksten;

op een alfanumeriek display worden weergegeven.



Figuur 5/8.1-8: De drie "levels" voor het weergeven van teksten.

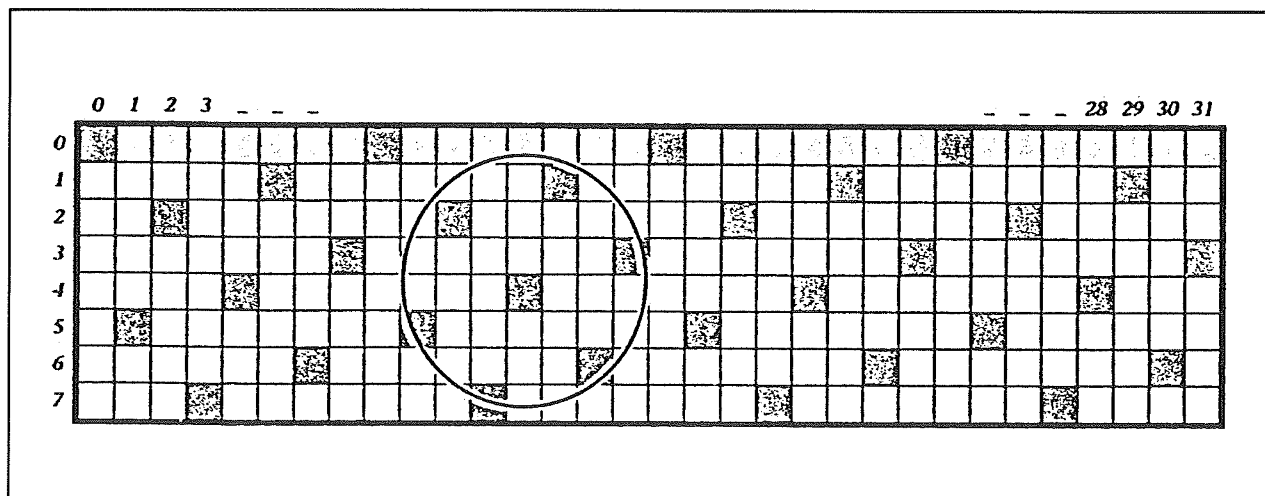
In figuur 5/8.1-8 zijn de drie "levels" voorgesteld.
Het eerste level is op alle DCC-apparatuur aanwezig en ook beschikbaar op alle voorbespeelde cassettes. Dit level beschikt over één regel met twaalf karakters voor bijvoorbeeld titel en componist.
Het tweede level beschikt over twee regels met ieder veertig karakters en het derde level zal, in de toekomst, 21 regels met ieder 40 karakters kunnen vullen. Dat betekent dus dat men de beschikking krijgt over een vol computerscherm met gegevens!

Zoals reeds geschreven staat voor al deze gegevens slechts één spoor op de band ter beschikking, het zogenoemde negende "auxiliary track". Het is niet mogelijk de gegevens op dit spoor te beschermen met behulp van een uitgebreide foutherkenning.
Vandaar wordt de bitrate op dit spoor teruggebracht tot een veilige 12 kbit/s.

De fout-correctie
Voor het principe van de fout-correctie grijpt men terug op de ook in de CD-technologie toegepaste "Reed-Solomon"-codering.
Voor details over deze techniek wordt verwezen naar hoofdstuk 5/7.3.
In het kort komt het er op neer dat de audio-bytes door elkaar gehusseld worden en nadien op verschillende sporen en plaatsen van de tape worden opgenomen. Op deze manier zal een "drop-out" steeds maar delen van diverse audio-bytes beschadigen. Uit de restanten van de codes kan de decodeer-elektronica toch nog de oorspronkelijke codes terug winnen.

Een en ander wordt schematisch toegelicht aan de hand van figuur 5/8.1-9. Daar is een stukje van de band getekend. De cirkel stelt een drop-out voor, een stuk tape dat niet uitgelezen kan worden omdat een stofje aan de band plakt of omdat de magnetische laag plaatselijk beschadigd is.
Door het door elkaar husselen van de audio-bytes zowel in de horizontale richting (verschillende plekken) als in vertikale richting (verschillende sporen) zal zo'n drop-out steeds maar bepaalde bits van de data-bytes verkeerd uitlezen. Door intelligente detectie-technieken kan de R/D-processor de foute bytes opsporen en corrigeren.

8.1 PASC, het principe van DCC



Figuur 5/8.1-9: De verhusseling van de data-bits op de acht sporen van de band als gevolg van de Reed-Solomon foutcorrectie.

De "CIRC" (Cross Interleaved Reed-Solomon Code) die bij het DCC-systeem wordt toegepast is in staat beschadigde plekken op de band die 1,45 mm lang zijn volledig te corrigeren.

Op de gegevens in het "auxiliary track" wordt ook een beperkte vorm van foutcorrectie toegepast. Er wordt gebruik gemaakt van "SRSC", afkorting van "Single Reed-Solomon Code". Deze beperkte foutherkenning is toch in staat zes foutieve bits in een blok te corrigeren.

ETM, Eight to Ten Modulation
De basisgegevens van het DCC-systeem bestaan uit bytes van acht bit. Nu komen in de in totaal 256 code-combinaties die daarmee samengesteld kunnen worden vaak twee hoge of twee lage bytes achter elkaar voor. Dit geeft problemen bij het registreren van de digitale gegevens op de band. Dat probleem kan opgelost worden door een code-conversie in te voeren, waarbij de 8 bits worden omgezet in een nieuwe code die 10 bit lang is.
Dit principe is uitvoerig toegelicht in hoofdstuk 5/7.3 bij de bespreking van de CD-codering en lectuur van dit hoofdstuk wordt dus ten stelligste aanbevolen!

Technische gegevens van DCC

Inleiding
Als afsluiting van dit inleidende hoofdstuk over de DCC-technologie volgt een kort overzicht van de technische specificaties.

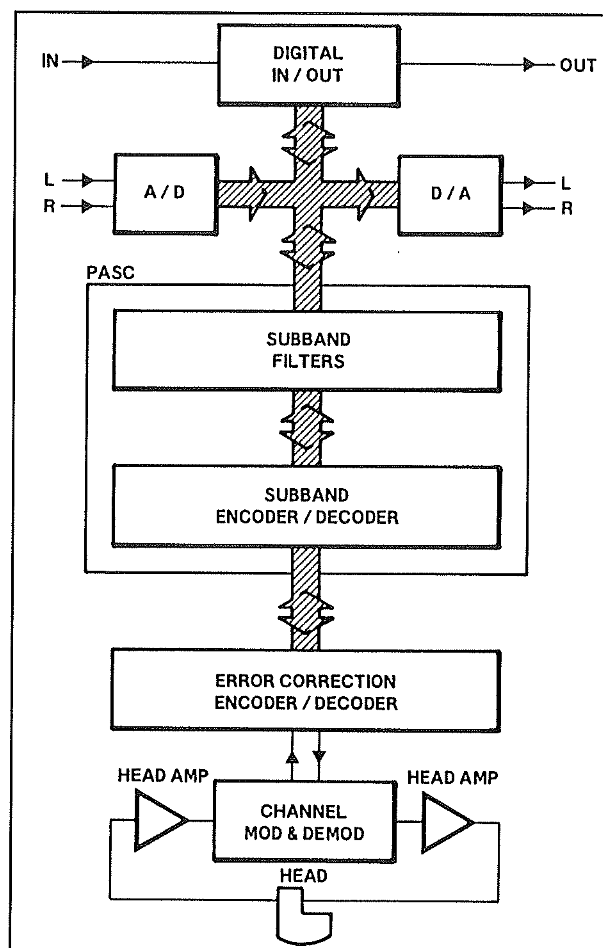
Blokschematische voorstelling
In figuur 5/8.1-10 is een blokschematische voorstelling gegeven van de signaalbewerkingen die er in een DCC-speler plaats vinden.

Iedere DCC-speler zou in principe moeten beschikken over een digitale ingang en een digitale uitgang, waarmee rechtstreeks digitale gegevens uitgewisseld kunnen worden met bijvoorbeeld een CD-speler of een digitale radio-ontvanger. Of dit in de praktijk zal gebeuren, is nog maar de vraag. Tenslotte zijn er vele CD-spelers

op de markt die niet eens over een digitale uitgang beschikken!
Hoe dan ook, na het omzetten van deze seriële gegevens in een 16 bit brede parallelle datastroom komen deze gegevens op een kruispunt. Daar worden de 16 bit bemonsteringscodes van een traditionele analoog naar digitaal omzetter aangeboden. Of de digitale gegevens gaan uiteraard naar een traditionele 16 bit brede digitaal naar analoog omzetter.
De vierde tak van het 16 bit brede kruispunt gaat naar de PASC-processor. Hier worden de digitale codes eerst verdeeld in de 32 sub-banden, waarna er de beschreven reductie-technieken op worden toegepast.
De uitgangscodes van de PASC-processor, groepjes van 8 bits, gaan vervolgens naar de Reed/Solomon-processor, die de verhusseling toepast. Nadien volgt de ETM-modulator en de elektronica die de digitale signalen omzet in stroompulsjes voor de schrijfkoppen.

De cassette

- opname- of weergavetijd:
  2 x 45 minuten
  2 x 60 minuten in ontwikkeling
- systeem:
  auto-reverse
- afmetingen cassette:
  100,4 x 63,8 x 9,6 mm^3
- breedte van de tape:
  3,78 mm
- bandsoort:
  chroomdioxyde
- bandsnelheid:
  4,76 cm/s
- aantal sporen:
  8 + 1 digitaal
  1 + 1 analoog
- breedte van de sporen:
  digitaal: 185 µm
  analoog: 600 µm
- spoorafstand:
  digitaal: 195 µm



Figuur 5/8.1-10: Een blokschematische voorstelling van de signaalbewerkingen in een DCC-systeem.

DCC-codering

- aantal kanalen:
  2
- sampling frequenties:
  48 kHz voor eigen opnames
  44,1 kHz voor CD-compatibiliteit
  32 kHz voor digitale radio compatibiliteit

8.1 PASC, het principe van DCC

- audio bit rate:
  384 kbit/s maximaal
- digitale resolutie:
  16 bit per sample
- audio-codering:
  PASC
- foutcorrectie codering:
  Reed-Solomon, CIRC
- modulatie:
  ETM, Eight to Ten Modulation
- digitale in- en uitgangen:
  compatible met de IEC-standaard EIAJ

DCC-analoog

- frequentie-bereik:
  5 Hz tot 22 kHz bij 48 kHz sampling
  5 Hz tot 20 kHz bij 44,1 kHz sampling
  5 Hz tot 14,5 kHz bij 32 kHz sampling
- dynamisch bereik:
  groter dan 105 dB
- totale harmonische vervorming:
  kleiner dan 92 dB
- wow en flutter:
  afhankelijk van kristal in DCC-apparatuur

8.1 PASC, het principe van DCC

5/8.2

De belangrijkste onderdelen van een DCC-speler

Blokschema van een DCC-speler

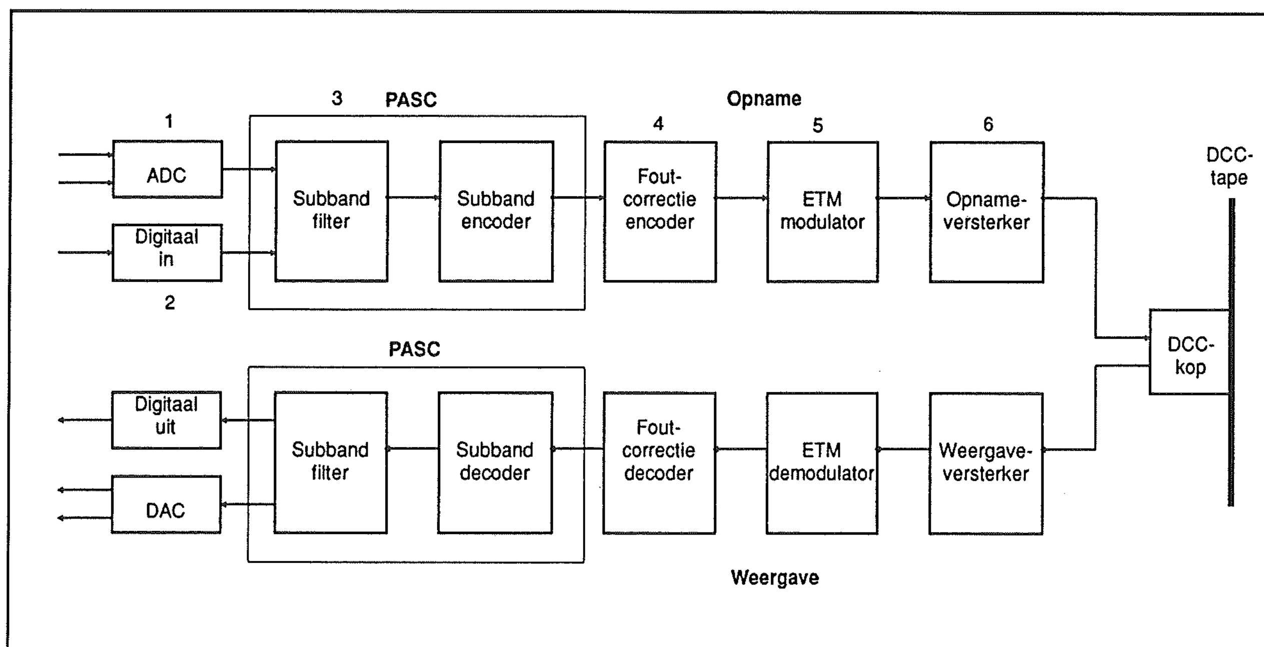
Twee apparaten in een
Een typische DCC-speler bestaat in feite uit twee afzonderlijke apparaten in één behuizing. Op de eerste plaats bevat de speler uiteraard de volledige elektronica voor de digitale verwerking van geluid. Maar daarnaast bevat iedere DCC-speler een kwalitatief hoogwaardige afspeler voor analoge cassettes. Standaard zal dit analoge deel worden uitgerust met Dolby B en C. Let wel dat een DCC-speler alleen afspeelfuncties bevat voor analoge cassettes en dat men er geen analoge opnames mee kan maken.
Naast deze twee duidelijk gescheiden elektronische delen bevat het apparaat natuurlijk ook gemeenschappelijke delen. De voornaamste gemeenschappelijke delen zijn het loopwerk voor de cassette en de gezamenlijke kop.
Voor het loopwerk kan men gebruik maken van de hoogwaardige loopwerken, die nu reeds in grote aantallen geproduceerd worden voor het betere soort analoge cassette recorders.
Het ontwerp van de kop is echter volledig nieuw en er wordt zelfs gebruik gemaakt van fysische principes die voor kopsystemen volstrekt nieuw zijn.

Het blokschema van het DCC-deel
In figuur 5/8.2-1 is het blokschema getekend van de digitale signaalverwerking in een DCC-speler.

Het analoge signaal dat moet worden opgenomen moet uiteraard eerst in een normale 16 bit brede digitale stroom worden omgezet. Maar al te vaak wordt vergeten dat de in hoofdstuk 5/8.1 beschreven reductie-technieken volledig digitaal werken en dus uit niets meer dan wiskundige bewerkingen bestaan, die op de codes worden uitgevoerd!
Voor het quantiseren van het analoge signaal worden traditionele 16 bit brede analoog naar digitaal omzetters toegepast.

De 16 bit brede monsters worden nadien aangeboden aan de PASC-processor. Hoewel gesproken wordt van "processor" is de gehele PASC-elektronica op dit moment nog niet beschikbaar onder de vorm van één IC. Maar ongetwijfeld zal dat niet lang meer duren. Dezelfde evolutie kent men van de CD-technologie, waar tegenwoordig alle signaalbewerkingen door maar twee IC's worden uitgevoerd.
In de PASC-processor worden eerst de amplitude-inhouden van de 32 subbandjes berekend in het "Sub-band filter". In dit filter worden de signalen die onder de gehoorgrens liggen al uitgefilterd.

8.2 De belangrijkste onderdelen van een DCC-speler



Figuur 5/8.2-1: Het blokschema van de digitale signaalverwerking in een DCC-speler.

Uit dit filter komen 32 digitale signalen die nog maar de helft van de originele data bevatten. In de "Sub-band encoder" wordt vervolgens de maskeertechnieken op de signalen uitgevoerd en worden de data zo efficiënt mogelijk over de subbandjes verdeeld. Na de PASC-codering volgen de reeds in hoofdstuk 5/8.1 beschreven "CIRC" en de "ETM".
De volledig gecodeerde datastroom wordt vervolgens aangeboden aan de opnameversterkers, die de signalen geschikt maken voor het sturen van de schrijfkoppen.

Een wezenlijk verschil met de analoge techniek is dat er bij DCC geen gebruik wordt gemaakt van wiskoppen. De nieuwe gegevens worden over de oude data heengeschreven. Dat kan zonder bezwaar omdat een eventuele vervorming van het digitale signaal door restanten van de oude code geen invloed heeft op de leesbaarheid van de digitale informatie.
Bij de weergave wordt het elektronische systeem in de omgekeerde volgorde doorlopen. De digitale pulsen die de weergaveversterker levert worden in de "ETM-demodulator" omgezet in 8 bit brede gegevens. Deze gaan naar de "CIRC-decoder" waar de verhusselde gegevens weer worden verzameld en eventuele fouten in de bytes zo goed mogelijk worden gecorrigeerd.

Nadien gaan de 32 digitale signalen naar de "Sub-band decoder" van de PASC-processor. Hierin vindt de amplitude-synthese plaats, waardoor alle monsters weer hun originele signaalsterkte krijgen. Het "Sub-band filter" voegt de 32 datastroompjes weer samen tot een 16 bit brede code, die de auditieve representatie vormt van de originele code.
Deze datamonsters gaan nadien naar een 16 bit brede DAC, waar de gegevens weer worden omgezet in een analoge spanning. Opgemerkt moet worden dat zowel de ADC als de DAC van het DCC-systeem werkt volgens het uit de CD-technologie bekende "bit-stream"-principe.

De belangrijkste onderdelen van een DCC-speler

Hoewel de elektronica uiteraard zonder enige diskussie het belangrijkste onderdeel van het DCC-principe vormt, kan op dit moment daar nog niet veel over geschreven worden. De elektronica en dan met name de integratie daarvan is nog in volle ontwikkeling!
Maar daarnaast zijn natuurlijk een aantal mechanische of elektro-mechanische componenten aanwezig, die even fundamenteel zijn voor het DCC-principe:

- de nieuwe digitale cassette;
- het precisie loopwerk;
- de koppen van het DCC-systeem.

Over deze belangrijke onderdelen gaat dit hoofdstuk.

De nieuwe digitale cassette

De afmetingen

De afmetingen van de nieuwe digitale cassette zijn, wat hoogte en breedte betreft, gelijk aan deze van de oude analoge cassette.
Alleen de dikte is iets kleiner: 9,6 mm in plaats van 12 mm (zie figuur 5/8.2-2).
Het kunststof doosje, waarin de cassette wordt geleverd, heeft dezelfde afmetingen, zodat alle bestaande rekken en opbergsystemen, zowel bij de winkelier als bij de consument, in gebruik kunnen blijven.

Auto-reverse

Het DCC-systeem werkt volledig autoreverse. Het is niet noodzakelijk de digitale compact cassette omgedraaid in het loopwerk te duwen. De DCC-spelers zijn ofwel voorzien van een kop die 180° kan draaien ofwel van twee identieke koppen, die ten opzichte van elkaar gedraaid zijn. Een en ander heeft tot gevolg dat de aandrijfopeningen van de twee spoelen niet door de gehele cassette heenlopen. De cassettes worden van de onderkant aangedreven met een systeem dat is afgekeken van de constructie van een 3,5 inch diskette. De bovenkant van de cassette is bijgevolg volledig gesloten en vlak. Dit is een wens van de software leveranciers, die nu een flink groot vlak ter beschikking hebben voor het aanprijzen van hun waar.

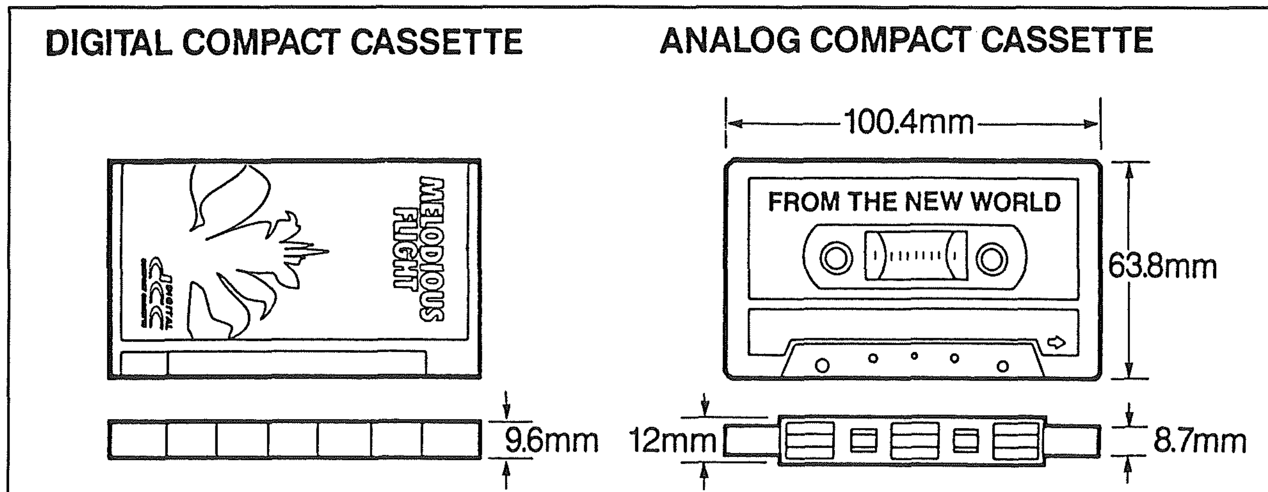
Beschermende maatregelen

De analoge compact cassette is niet erg beschermd tegen het binnen dringen van stofdeeltjes. Bij de digitale cassette is dat echter, vanwege de geringe spoorbreedte, een belangrijke eis.
De nieuwe cassette is voorzien van een metalen schuifje, net zoals een 3,5 inch diskette. Dit schuifje sluit in rust de aandrijf openingen voor spoelen en band en het gat waardoor de kop en de band met elkaar in contact komen, volledig af. Bij het in de DCC-speler leggen van de cassette wordt dit verende metalen plaatje automatisch verschoven en komen de openingen vrij. Het grote voordeel van deze constructie is dat een DCC-cassette zonder problemen ook zonder kunststof doosje is mee te nemen, zelfs in een stoffige tas.

Gaten voor tellen en wissen

De nieuwe cassette is voorzien van twee extra gaatjes. Het ene gat is eigenlijk een sleufje, waardoor het systeem kan aftasten hoeveel band er nog op een spoel zit. Omdat de dikte van de band gestandaardiseerd is kan de elektronica aan de hand van de gemeten gegevens berekenen hoeveel tijd er verstreken is sinds de start van de opname.

8.2 De belangrijkste onderdelen van een DCC-speler



Figuur 5/8.2-2: Een vergelijking tussen de afmetingen van de digitale en de analoge compact cassette.



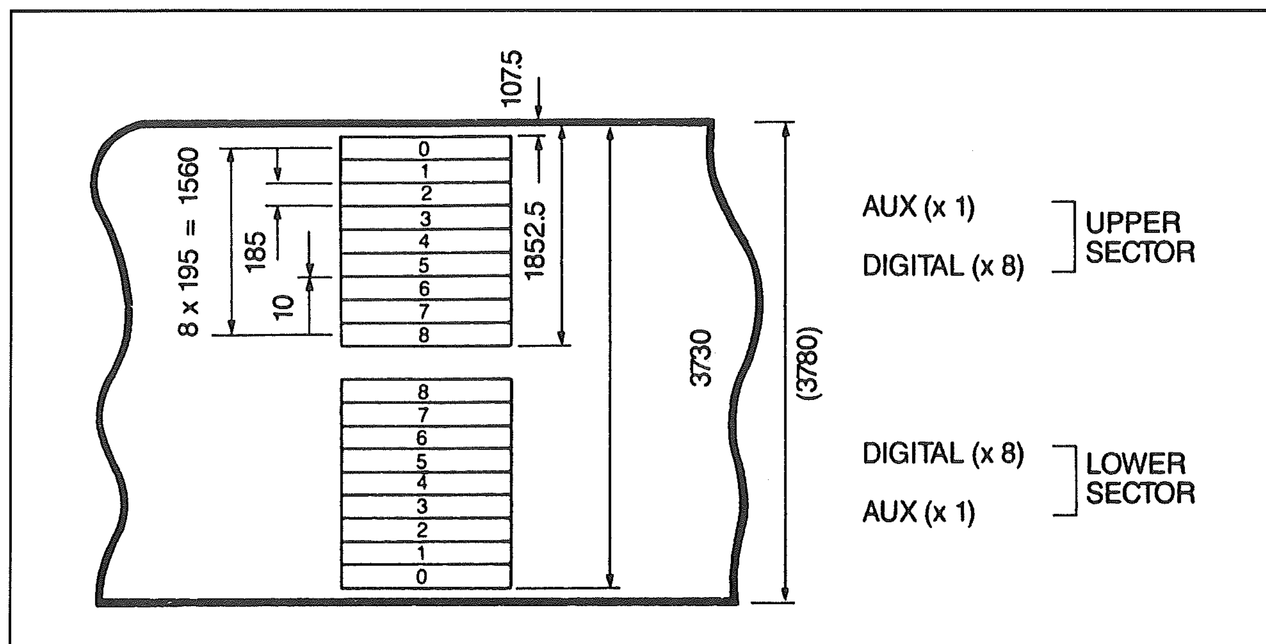
Figuur 5/8.2-3: De voor- en achterzijde van de digitale compact cassette.

Dit is belangrijk bij lege cassettes, omdat deze niet zijn voorzien van tijdcode-informatie op het negende hulpspoortje. Via een tweede gat met schuifje kan men de cassette beschermen tegen het ongewenst overschrijven van de gegevens.
Ook dit systeem is duidelijk afgekeken van de 3,5 inch diskette. In figuur 5/8.2-3 is het beschermende metalen plaatje heel duidelijk te zien op de achterzijde van de cassette.

De tape in de cassette
Bij de gebruikte data-snelheid is de kortste golflengte die men op de tape moet zetten ongeveer 0,99 µm. Dat heeft tot gevolg dat men gebruik kan maken van magnetisch materiaal met een lage coërciviteit. De tape die wordt gebruikt is afgeleid van de hoogwaardige bandsoorten die tegenwoordig voor video-cassettes worden gebruikt. De dikte van de drager bedraagt 12 µm en op deze drager wordt een laag chroomdioxyde (of ferroxyde met cobaldverbindingen) aangebracht van slechts 3 µm. De coërciviteit van het materiaal bedraagt 700 Œrsted. De aanloopstrook van de tape in de cassette moet minimaal 36 cm lang zijn.
Dit in de verwachting dat in de toekomst DCC-apparatuur wordt ontwikkeld met zeer sterke motoren, die de band zeer snel heen en weer gaan spoelen op zoek naar nummers.

Volgens Philips heeft het gebruik van chroomdioxyde band, naast de lage prijs, nog een aantal andere voordelen.
Zo zou deze band veel beter bestand zijn tegen hoge temperaturen dan de dure MP-tape die voor DAT noodzakelijk is.

8.2 De belangrijkste onderdelen van een DCC-speler



Figuur 5/8.2-4: De positie van de 2 x 9 track's op de cassettetape.

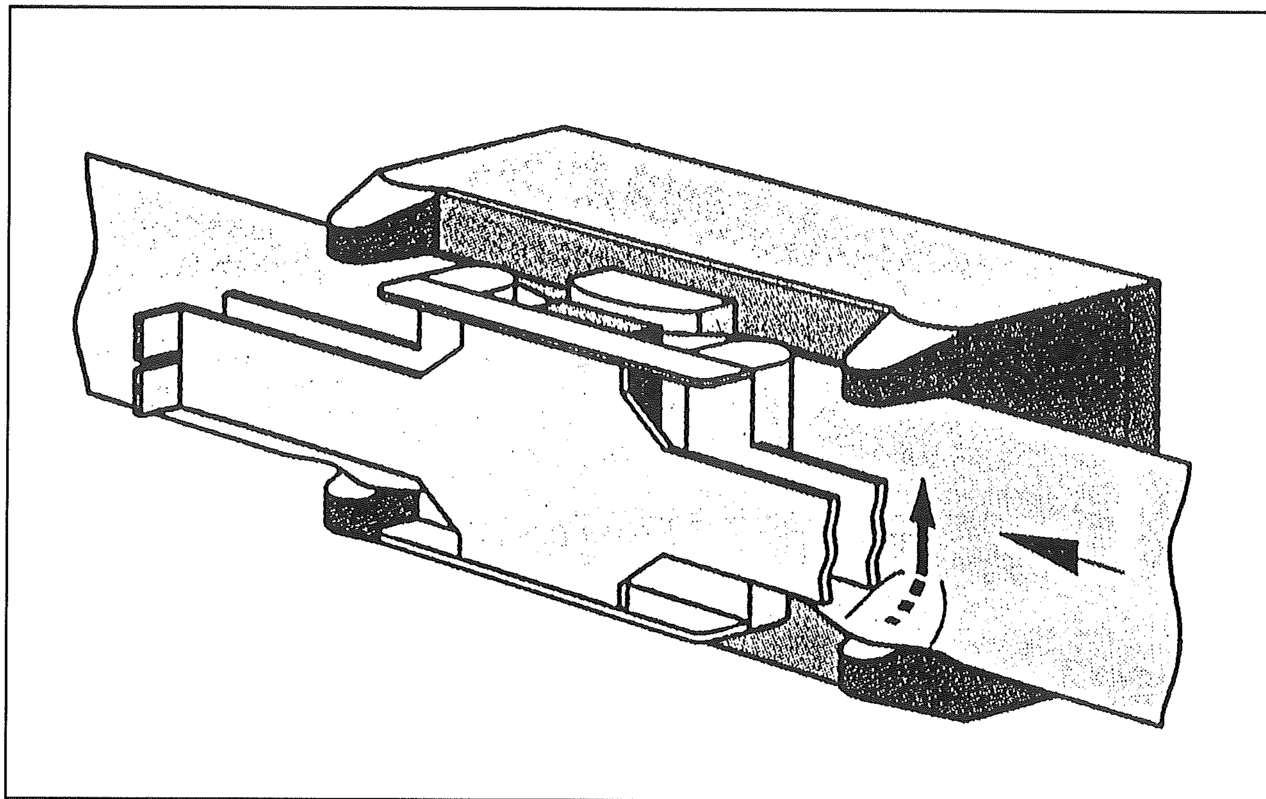
Gelet op het feit dat Philips werkt aan de productie van DCC-spelers voor in de auto lijkt dit inderdaad een groot voordeel. Want in een auto kan het vaak tot 80 °C heet worden! DAT-tape zou deze temperatuur nooit ongeschonden overleven!

Het data-formaat van de tape
Zoals reeds geschreven in het vorige hoofdstuk worden er 9 sporen op de tape gezet. Vanwege het auto-reverse systeem moeten deze op de helft van de tapebreedte opgenomen worden.
De preciese afmetingen van de 2 x 9 sporen zijn voorgesteld in figuur 5/8.2-4. Alle afmetingen zijn in deze figuur in µm gegeven. De afzonderlijke sporen of track's zijn 185 µm breed en de afstand tussen de sporen bedraagt slechts 10 µm. Let er op dat het buitenste spoortje slechts op 107,5 µm, dus iets meer dan een tiende millimeter, van de rand van de tape zit! Het zal duidelijk zijn dat er zeer hoge eisen worden gesteld aan het bandtransport. Zelfs het kleinste kreukeltje in de band heeft tot gevolg dat er uitleesfouten ontstaan.

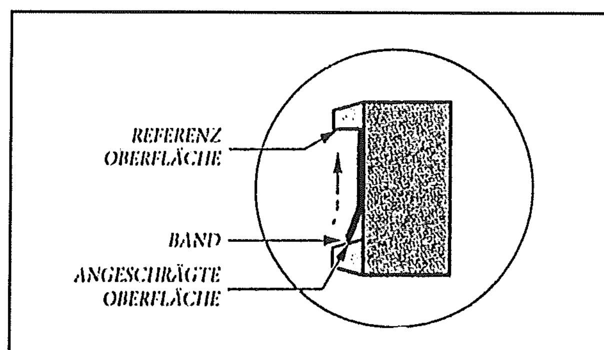
Het precisie loopwerk

Inleiding
Volgens Philips kan het DCC-systeem zonder problemen gebruik maken van de betere soorten analoge loopwerken. Deze worden nu al toegepast in de duurdere analoge cassette recorders. Toch worden er aan de bandloop tamelijk hoge eisen gesteld, met name wat betreft de positionering van de band ten opzichte van het koppensysteem. In de DCC-spelers van Philips worden in de bandgeleiding enige eigen vindingen verwerkt, "FATG" en "ALP", die moeten zorgen voor een probleemloze positionering en doorvoer van de tape.
In figuur 5/8.2-5 is de door Philips ontwikkelde bandgeleiding rond de koppen getekend.

8.2 De belangrijkste onderdelen van een DCC-speler



Figuur 5/8.2-5: De bandgeleiding in het voor DCC-technologie noodzakelijke precisie loopwerk.



Figuur 5/8.2-6: Een doorsnede door de bandpositionering van het FATG-mechanisme.

Het FATG-mechanisme

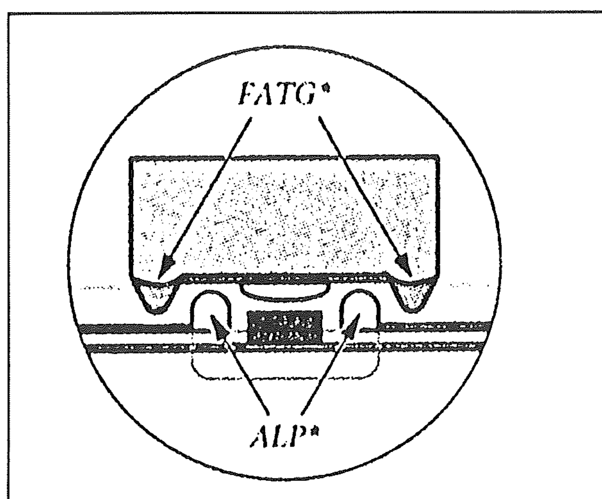
"FATG" is het letterwoord van "Fixed Azimuth Tape Guide". Het is een door zijn eenvoud schitterend idee om ervoor te zorgen dat de band in vertikale richting steeds in dezelfde positie ten opzichte van de koppen blijft. In figuur 5/8.2-6 is een doorsnede door deze bandgeleiding getekend.

FATG is afgeleid van een oud Philips-patent, dat reeds werd toegepast bij analoge cassettespelers en dat de naam "AZTEC" droeg. Aan weerszijden van de koppen bevinden zich twee bandgeleidingsnokken. De onderste twee zijn gewelfd, de bovenste vormen een scherpe hoek met het vlakke deel waarover de band loopt. Door de gewelfde nokken zal de tape ook een kleine welving gaan vertonen aan de onderzijde.
Hierdoor wordt de band, net zoals een licht gebogen papierstrook, iets stijver. Doordat de band langs de gewelfde nok wrijft ontstaan er krachten op de tape, die de band automatisch tegen de bovenste nok duwen. De plaatselijke stijfheid en de krachten zorgen ervoor dat de vertikale

tolerantie van 50 μm gemakkelijk gehandhaafd blijft.

Het ALP-mechanisme

"ALP" is het letterwoord van "Azimuth Locking Pin". Deze twee pennen zijn, zie figuur 5/8.2-7, aan weerszijden van de FATG's opgenomen.



Figuur 5/8.2-7: Het principe van de twee ALP's.

Deze twee pennen drukken de tape in de FATG's, waardoor het FATG-mechanisme gaat werken en de stijve tape tegen de bovenste geleidepennen van de FATG's wordt gedrukt.
Daarnaast zorgen de twee ALP's ervoor dat de band een goed contact maakt met de kop.

De koppen van het DCC-systeem

Een kop met 20 luchtspleten!

De kop van een DCC-speler is een waar hoogstandje van moderne techniek.
In één kop zijn niet minder dan 20 luchtspleten opgenomen, ieder met hun eigen elektro-magnetische of magnetoresistieve systemen.
Die 20 luchtspleten zorgen voor het lezen en schrijven van de digitale cassettes en voor het lezen van de analoge cassettes:

- 9 zogenoemde "IRH's", "Integrated Recording Head", voor het schrijven van de digitale informatie met een spoorbreedte van 185 μm;
- 9 zogenoemde "MRH's", "Magneto Resistive Head", voor het lezen van de digitale informatie met een spoorbreedte van slechts 70 μm;
- 2 "MRH's", voor het lezen van de analoge informatie met een spoorbreedte van 600 μm.

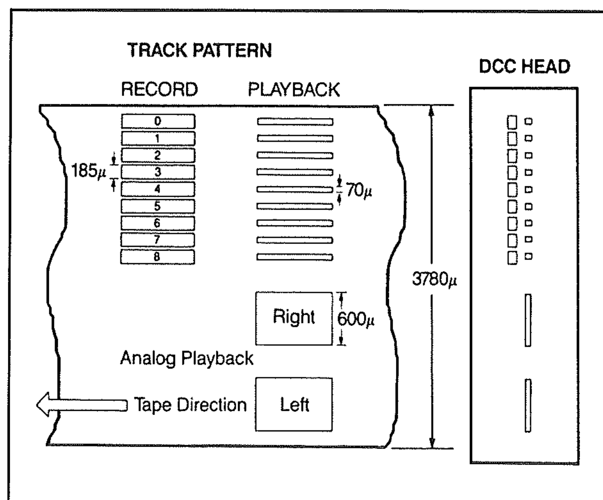
De positie van de kopspleten

De positie van de 20 kopspleten in de kop is uiteraard afgestemd op de positie van de 9 digitale en 2 analoge track's op de tape. In figuur 5/8.2-8 is de plaats van de twintig kopspleten aangegeven. Let op de positie van de negen MRH's achter de negen IRH's. De kop is dus in twee delen ingedeeld. Het bovenste deel zorgt voor het schrijven en lezen van digitale informatie, het onderste deel verzorgt het lezen van analoge cassettes.

Het auto-reverse systeem

De auto-reverse functie is een wezenlijk en fundamenteel onderdeel van het DCC-principe. Omdat de cassette niet gedraaid kan worden, moet het reverse-mechanisme wel betrekking hebben op de kop.
In de goedkope DCC-apparatuur maakt men volgens het systeem van figuur 5/8.2-9 gebruik van één kop, die bij de auto-reverse 180° om zijn as wordt gedraaid. De digitale spleten komen dan tegen de onderste helft van de tape te liggen en de tweede set track's wordt geschreven of gelezen.

8.2 De belangrijkste onderdelen van een DCC-speler



Figuur 5/8.2-8: De positie van de twintig luchtspleten in de DCC-kop.

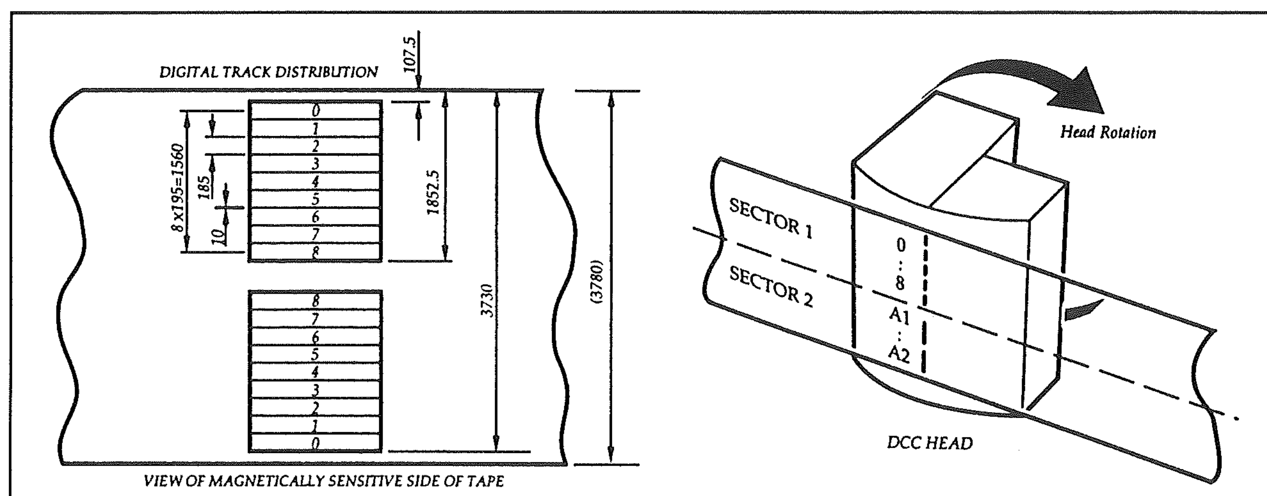
Dit systeem heeft als nadeel dat het op de lange termijn minder betrouwbaar gaat werken. Het draaimechanisme van de kop gaat na jarenlang gebruik slijtage vertonen, waardoor het sporen van de tape ten opzichte van de kop problematisch wordt.
In duurdere apparatuur (en waarschijnlijk binnen enige jaren standaard in alle apparaten) wordt het systeem van figuur 5/8.2-10 gebruikt. Hierbij worden twee identieke koppen toegepast, waarvan een 180° gedraaid is. Iedere kop neemt dan het lezen en schrijven van de helft van de tape voor zijn rekening. Op dit moment is dit systeem nog duur, omdat de speciale DCC-kop natuurlijk nog niet op massale schaal geproduceerd wordt. Maar ongetwijfeld is dit een overgangsfase.

De constructie van de kop
De toepassing van de traditionele technieken voor het vervaardigen van de opname/weergave-kop is niet mogelijk door het relatief groot aantal zeer kleine elementjes die in de kop verwerkt moeten worden. Zo zou men spoeltjes van nog geen 0,2 mm moeten wikkelen die uiterst nauwkeurig in de kopconstructie gepositioneerd moeten worden.

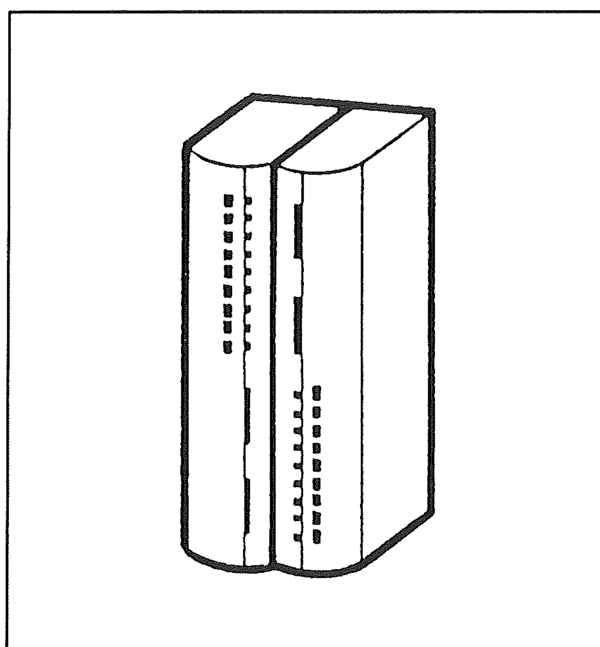
Maar gelukkig kan men gebruik maken van dunne film technologie. Deze technologie wordt ook bij de fabricage van geïntegreerde schakelingen toegepast en in vergelijking met de afmetingen en toleranties die daar gehanteerd worden, is een DCC-kop een ontzettend groot ding!

In figuur 5/8.2-11 is het uiterlijk getekend van de eerste generatie DCC-koppen.
Voor de 9 digitale schrijfkoppen wordt het traditionele principe voor het genereren van een magnetisch veld gevolgd. Het magnetisch veld ontstaat door een stroompulsje door een spoeltje te sturen. Dit magnetisch veld wordt nadien op de luchtspleet gefocusseerd.
Tussen de twee polen van de luchtspleet zal het magnetisch veld iets uitdijen en de magnetische partikeltjes in de langs lopende band magnetiseren.
De negen schrijfkoppen worden in één proces op een halfgeleidende drager aangebracht.
De spoeltjes worden niet uit draad gewikkeld, maar onder de vorm van uiterst fijne spoortjes op de drager geëtst. De stroomvoerende geleiders van de geëtste spoeltjes worden nadien omgeven door een zogenoemde “flux guide”. Deze zorgt ervoor dat de magnetische krachtlijnen die in de spoeltjes worden opgewekt volledig gefocusseerd worden op de 185 μm brede luchtspleetjes.
De leeskoppen voor het digitale systeem werken volgens een geheel anders en zelfs nieuw principe. De ruimte is te klein om zelfs geëtste spoeltjes te kunnen toepassen. Vandaar wordt gebruik gemaakt van het zogenoemde “magneto-resistieve effect”.

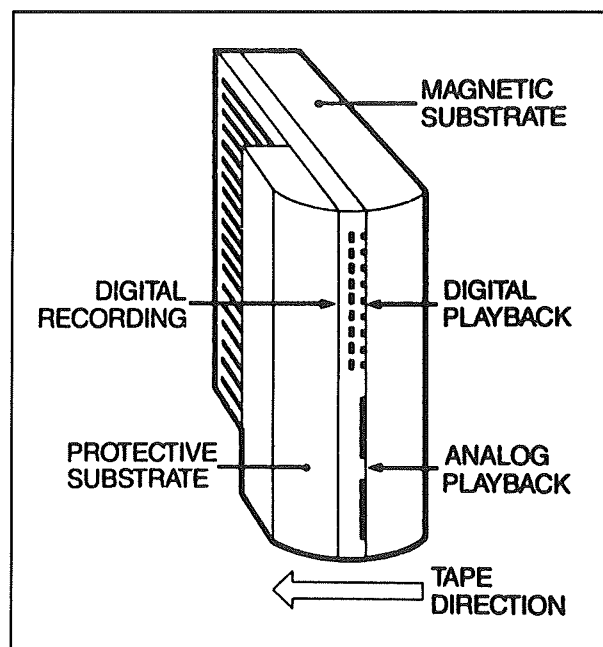
8.2 De belangrijkste onderdelen van een DCC-speler



Figuur 5/8.2-9: Bij goedkope DCC-apparaten wordt één kop toegepast, die 180° gedraaid wordt bij de auto-reverse.



Figuur 5/8.2-10: Bij duurdere DCC-apparatuur worden twee koppen toegepast, die ieder één looprichting van de tape voor hun rekening nemen.

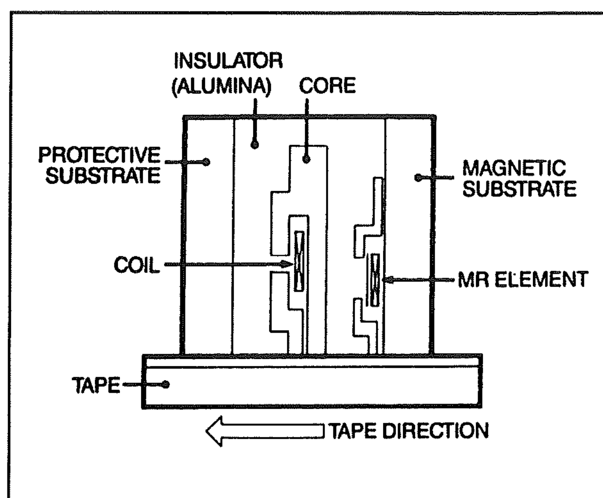


Figuur 5/8.2-11: Het uiterlijk van de DCC-kop in dunne film techniek.

Dit effect werd reeds in 1857 ontdekt, maar praktische toepassingen bleven uit. Het effect komt er op neer dat de weerstand van sommige "magneto-resistieve" materialen door een extern magnetisch veld beïnvloed kan worden.

Als het externe magneetveld varieert, doordat de gemagnetiseerde band voorbij de spleten van de lees-elementen beweegt, dan zal ook de weerstand van de MRH's in hetzelfde ritme variëren.
Deze magneto-resistieve elementen zijn gemakkelijk via geïntegreerde technie-

ken op een drager aan te brengen, zelfs op de zeer kleine ruimte van 70 µm die per element ter beschikking staat.



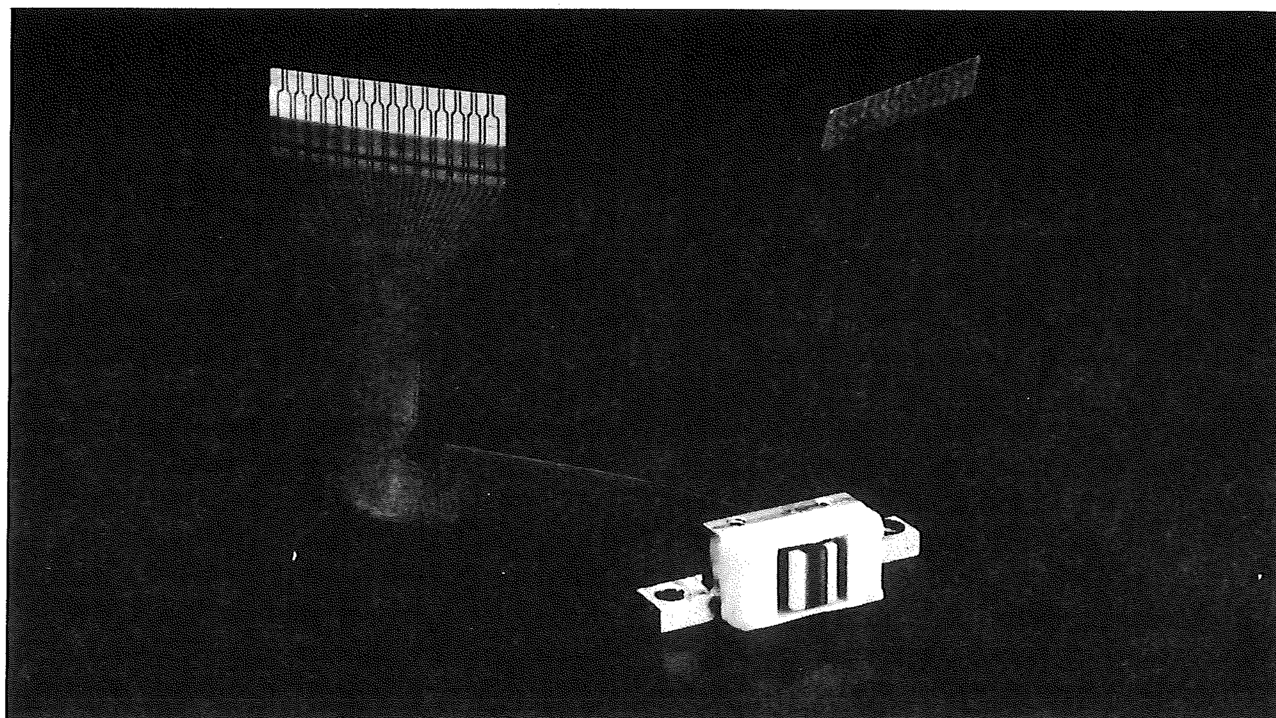
Figuur 5/8.2-12: De interne opbouw van een DCC-kop.

De variërende weerstand van de elementjes wordt in een spanning omgezet door een kleine zeer constante stroom door de elementen te laten stromen. Op deze manier kan men op een relatief eenvoudige manier de magnetische bits op de tape omzetten in digitale spanningspulsjes.

De twee elementen voor het lezen van de analoge cassettes worden op dezelfde manier gefabriceerd.

Helaas is het magneto-resistieve effect niet omkeerbaar. Voor de schrijfkoppen moest men dus wel gebruik maken van traditionele spoeltjes, zij het dat deze nu geëtst worden en niet gewikkeld.

De koppen worden op de elektronica aangesloten met behulp van op een flexibele drager geëtste koperen spoortjes in vlakke band techniek. Nadien worden de koppen in het bandgeleidingssysteem gemonteerd (figuur 5/8.2-13).



Figuur 5/8.2-13: De in dunne film techniek uitgevoerde koppen worden in de tape-geleider gemonteerd en door middel van flexibele geëtste bedradingen op de elektronica aangesloten.